

VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1980:9

OULUJÄRVEN TALVISET HAPPIPITOISUUS-
ENNUSTEET ERI BHK₇ - KUORMITUS-
VAIHTOEHDOISSA

1980:9

OULUJÄRVEN TALVISET HAPPIPITOISUUS-
ENNUSTEET ERI BHK₇ - KUORMITUS-
VAIHTOEHDOISSA

K. MATTI LAPPALAINEN

Kuopio 15.5.1979

	Sivu
1. JOHDANTO	5
2. LASKENTAPERUSTEET	5
2.1 Oulujärven hydrologiset erityispiirteet	5
2.2 Virtaus- ja virtaamamallit	8
2.3 Happimallit	9
2.4 Mallien kalibrointi ja verifiointi	10
3. ENNUSTEET	14
3.1 Vaihtoehtojen valinta	14
3.2 Ennusteiden tarkastelu	15
4. JATKOTUTKIMUKSISSA HUOMIOITAVIA SEIKKOJA	19
5. TIIVISTELMÄ	20
6. KIRJALLISUUS	21

1. JOHDANTO

Tämän Kainuun vesipiirin vesitoimiston tilaaman työn tarkoituksena on ollut laatia ennusteet Oulujärven Paltas- ja Ärjänselän talviaikaisista happipitoisuuksista eri kuormitustilanteissa. Jo suoritetuissa tutkimuksissa on nimittäin todettu, että lähinnä Kajaani Oy:n jätevesistä johtuvaa hapen vajausta havaitaan laajoilla alueilla vain talvella.

Laskelmat laaditaan Lappalaisen (1978) järvi-altaille kehittämien happimalien pohjalta Oulujärveen sovellettuna. Kokonaisuuden monitahoisuuden vuoksi työn kokemusten perusteella esitetään lopuksi näkökohtia jatkotutkimusohjelmien tarkistamiseksi niin, että havaintotulokset soveltuisivat entistä paremmin esimerkiksi vedenlaatumallien käyttöön.

2. LASKENTAPERUSTEET

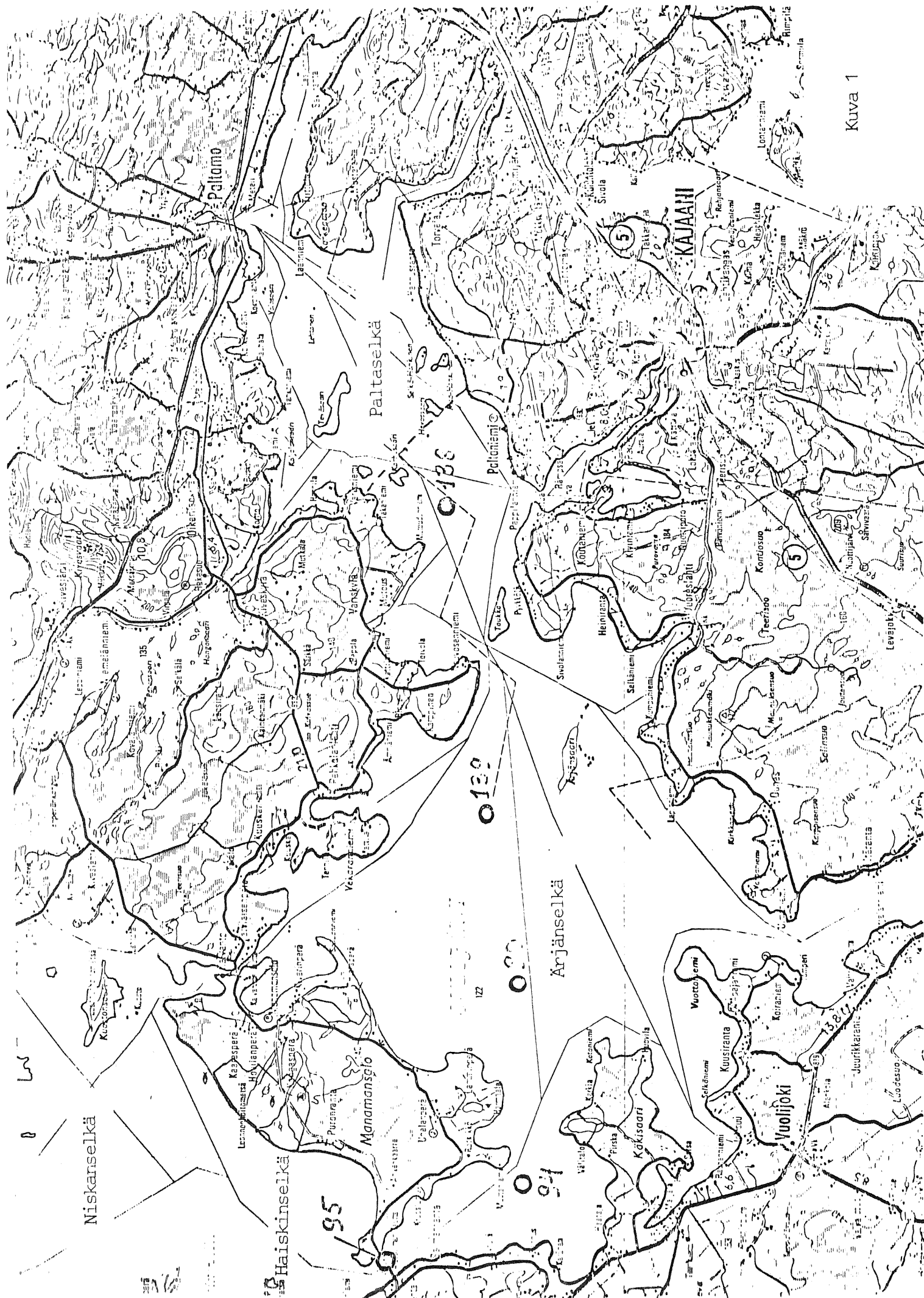
2.1 Oulujärven hydrologiset erityispiirteet

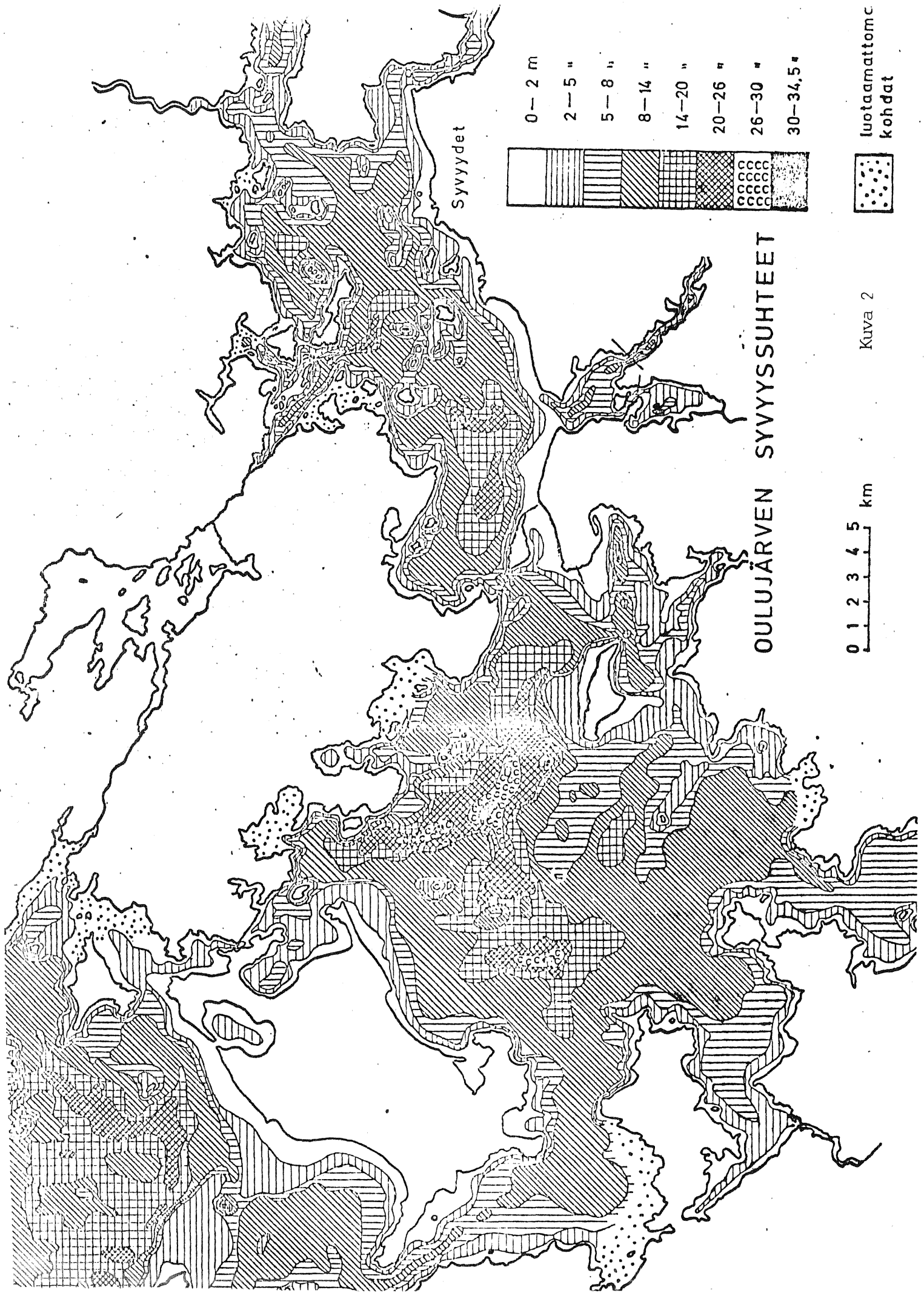
Kuvat 1 ja 2 esittävät tarkasteltavaa aluetta, näytteenottopaikkoja ja syvyyksiä. Tärkeimmät hydrologiset perustiedot selviävät taulukosta 1.

Taulukko 1

	Paltaselkä (itäinen)	Paltaselkä (läntinen)	Ärjänselkä
Valuma-alue (km ²)			
- suuret joet	8 634	7 307	17 195
- pienet joet	447	-	743
- rannat	400	230	350
- vesialue	116	61	350
yht.	9 597	7 598	18 638
Tilav. (milj.m ³)	522	488	2 765
Keskisyv. (m)	4.5	8.0	7.9
Keskivirtaama (m ³ /s)	111	199	215
Teoreett. viipymä (d)	54	28	149

Saarilinjan Karhusaari - Hevossaari kynnyks erottaa Paltaselän kahdeksi osaksi, joista itäiseen kohdistuu Kajaani Oy:n lieviä jätevesivaikutuksia satunnaisesti talvisin ja silloinkin vain 10 m alapuolisiin lähisyvänte-





siin. Selvää jätevesien vaikutusaluetta on siten läntisen Paltaselän alusvesi niin, että 15 m syvyytason alapuolella on talvisin lähes paikallaan seisovaa huonolaatuista vettä ja että 5 - 15 m syvyysvyöhykkeessä virtaa Sotkamon reitiltä tulevan Kajaaninjoen vesi jätevesineen. Kajaaninjoen vesien sukeltaminen johtuu jätevesilämmön ja -kuormituksen ominaispainoa lisäävästä vaikutuksesta.

Ärjänselän ja Paltaselän välisessä Toukansalmen kynnyksessä, jonka kynnysvyvyys lienee 7 - 9 m, syntyy turbulenttisuutta siinä määrin, että Paltaselällä 0 - 5 m vesikerroksessa virtaava, pääasiassa Hyrynsalmen reitiltä tuleva vesi ja alempi Sotkamon reitin vesi kuormituslisineen sekoittuvat toisiinsa. Näin muodostuu yhdistynyt virtaava vesikerros, joka virtaa noin 10 m paksuisena lähinnä Ärjänsaaren pohjoispuolitse Ärjänselälle. Virtauksen pääosa on talvina 1973 - 1975 tapahtunut pääasiassa 5 - 15 m ja talvina 1976 - 1979 1 - 10 m vesikerroksissa. Virtauskerros levittäytyy Ärjänselällä siten, että sen leveys on 8 - 10 km ja painopiste selän pohjoispuoliskolla.

Se vesiseos, joka muodostuu Paltaselällä vesistön jäätymishetkellä Kajaanin tasalla olevista liikkuvista vesistä, ehtii yleensä helmi - maaliskuussa Ärjänselän ja Haiskinselän väliseen Alassalmeen. Näinollen Kajaanin jätevesien talvista vaikutusaluetta on myös koko Ärjänselkä sen eteläisiä ja myös suojaisimpia pohjoisia lahtia lukuunottamatta.

2.2 Virtaus- ja virtaamamallit

Edellä esitettyjen tarkastelujen perusteella altaiden talvinen hydrauliikka muodostuu seuraavasti.

Paltaselän eteläisen osan talvinen alusvesivirtaama on sama kuin Sotkamon reitin virtaama Q_S Kajaaninjoessa.

Paltaselän eteläisen osan talvinen päällysvesivirtaama Q_E saadaan seuraavasti

$$Q_E = Q_H + qA_r - \frac{dh}{dt} \times A_v \quad (1)$$

jossa Q_H = Hyrynsalmen reitin virtaama
 A_r = Paltaselän lähivaluma-alueiden ja pienjokien
 valuma-alueiden summa
 A_v = Paltaselän vesipinta-ala
 q = talvinen valuma
 dh/dt = veden korkeuden muutosnopeus

Kaikkien lisävesien ajatellaan siten kohdistuvan päällysveteen.

Ärjänselän virtauskerroksen virtaama Q_A on siten

$$Q_A = Q_S + Q_E \quad (2)$$

jossa Q_A tarkoittaa nimenomaan sitä virtaamaa, joka tulee Toukansalmesta ja virtaa n. 10 m paksuisena syvyysvyöhykkeessä 1 - 15. Ärjänselällä ajatellaan siten olevan käytännössä liikkumaton alusvesi ja joinakin vuosina lähes liikkumaton ohut päällysvesi.

2.3 Happimallit

Lappalainen (1978) on esittänyt hydrauliikan, BHK-kuormituksen, fosforikuormituksen ja orgaanisen peruskuormituksen avulla määriteltävät järvien happimallityypit A, B ja C, joista A ja B käsittelevät talvitilannetta ja C avovesikautta.

Mallityyppi A käsittelee tilannetta, jossa kuormitus kohdistuu vain talviseen liikkuvaan päällysveteen. Se ottaa huomioon veden liikenopeuden ja syksyisen avovesitilanteen lähtökohtana. Tyyppi A soveltuu siten sellaisenaan vain Paltaselälle ja siihenkin siten, että Kajaaninjoen BHK-kuormitus vaikuttaa talveen vain syksytilanteen heijastumana, sillä talvellahan Kajaanin kuormitus kohdistuu Paltaselän alusveteen.

Mallityyppi B käsittelee puolestaan tilannetta, jossa BHK-kuormitus kohdistuu vain alusveteen, joka virtaa jäteveden tai muiden alusvettä muodostavien vesien työntämänä ja täyttää vyöryttämällä alusvesitilavuutta. Tämä tyyppi ottaa myös huomioon syksyn lähtökohtatilanteen ja alusveden liikenopeuden. Paltaselän alusveteen mallityyppi B sopii siten sellaisenaan.

Ärjänselän tilanne on poikkeuksellinen, sillä siellähän Paltaselän liikkuvat päällys- ja alusvedet sekoittuvat toisiinsa ja muodostavat uuden virtausputken. Syntynyt ongelma voidaan ratkaista siten, että ajatellaan päällys- ja alusvesien virtaavan erillään, lasketaan ajateltujen kerrosten happipitoisuudet niille kehitetyillä malleilla ja suoritetaan "laskennollinensekoittaminen". Päällys- ja alusvesikomponenttien yhdistäminen tulee tehdä ajatellun päällys- ja alusveden virtaamien suhteissa painottaen seuraavasti:

$$O_A = \frac{Q_E}{Q_E + Q_S} O_e + \frac{Q_S}{Q_E + Q_S} O_h \quad (3)$$

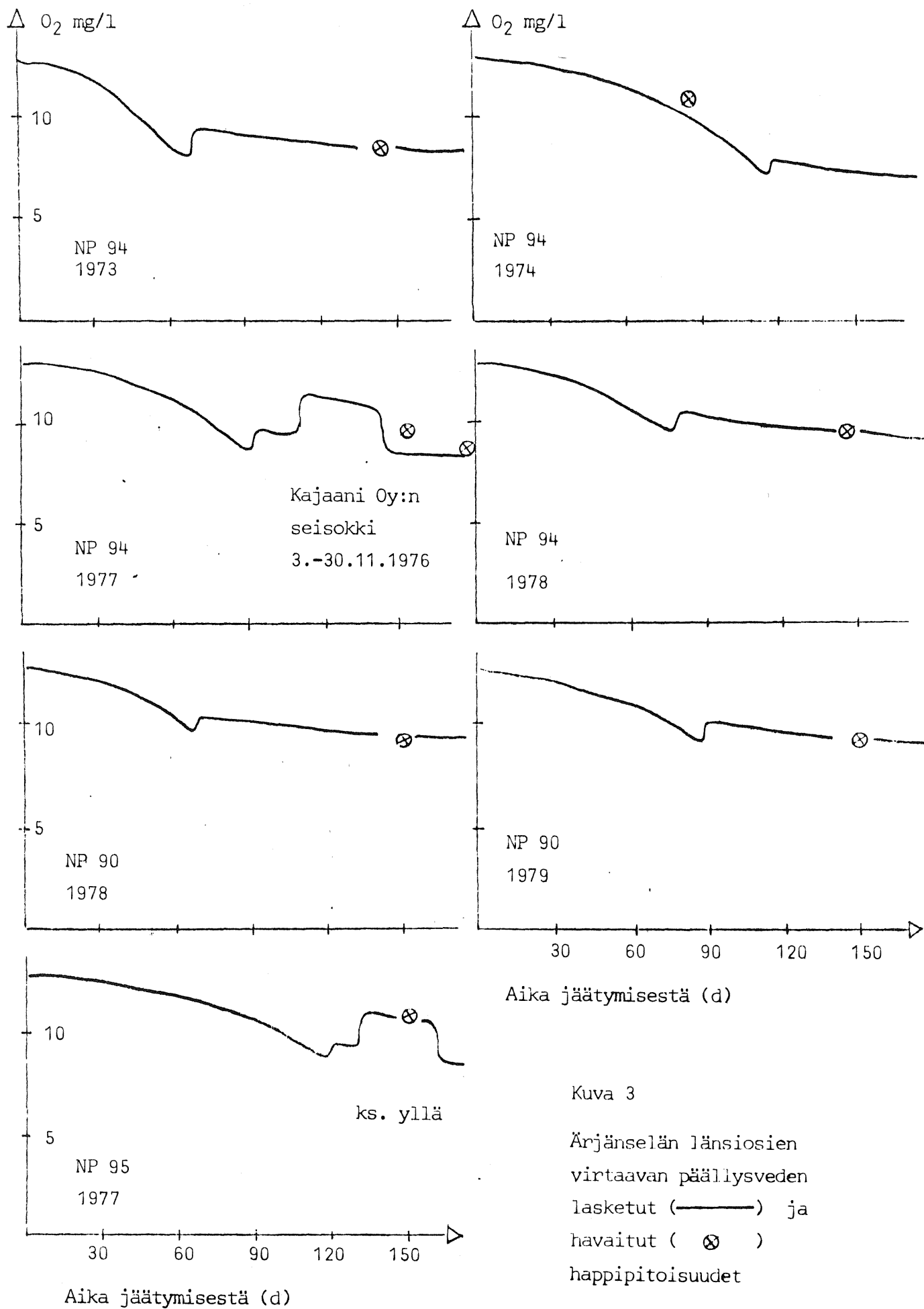
jossa O_A = happipitoisuus Ärjänselän virtauskerroksessa
 O_e = mallilla A laskettu päällysveden happipitoisuus
 O_h = mallilla B laskettu alusveden happipitoisuus
 Q_E = Paltaselän päällysveden virtaama
 Q_S = Paltaselän alusveden virtaama

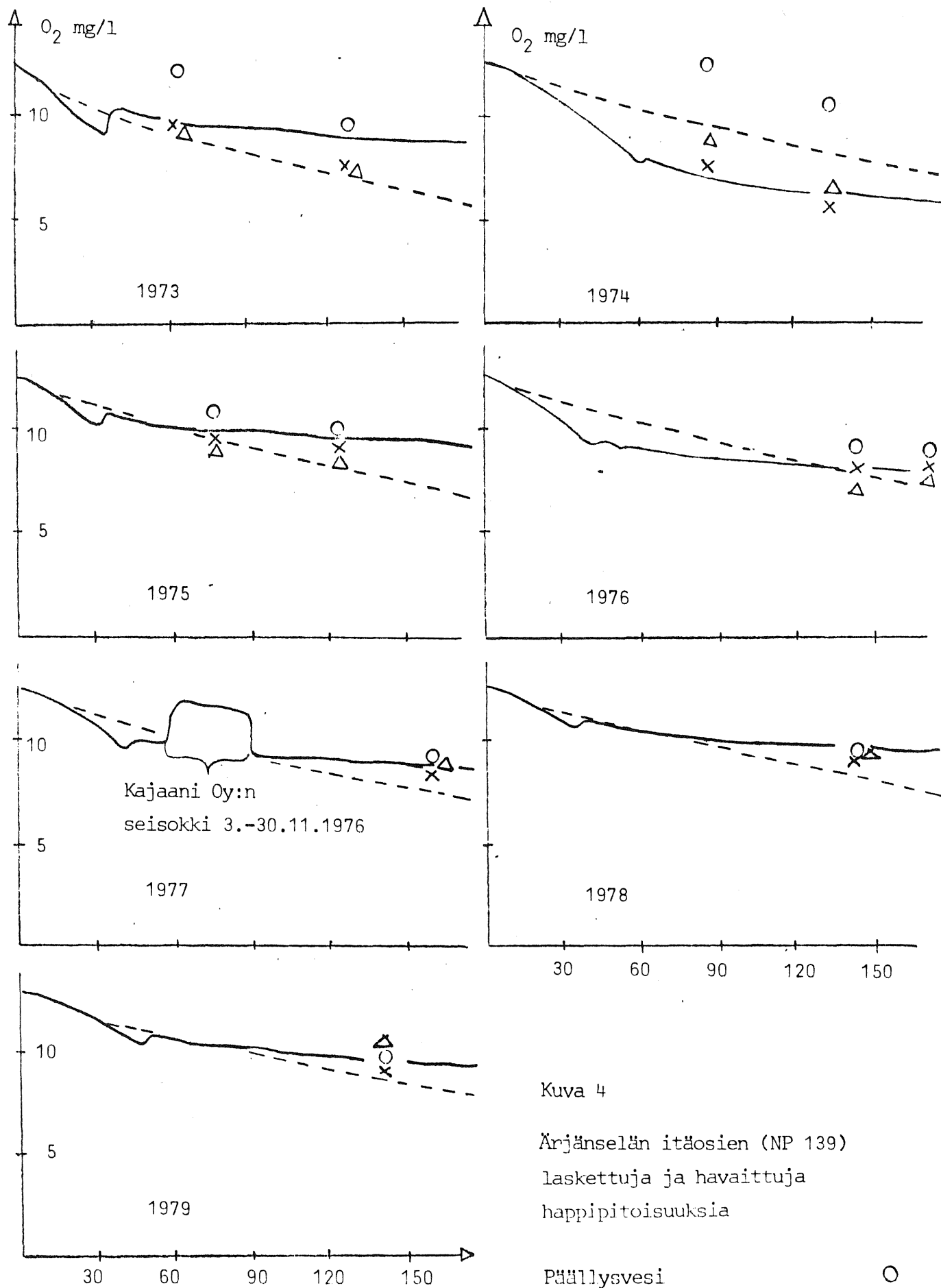
2.4 Mallien kalibrointi ja verifiointi

Happimallit tarvitsevat tilanteista riippuen 13 - 20 eri parametrin määrittelyn. Tärkeimpiä ovat altaiden viipymiä, BHK₇-kuormituksen sekoituspitoisuuksia, rehevyyttä ja orgaanista peruskuormitusta kuvaavat tunnusluvut. Aineistona on käytetty vuosien 1973 - 1979 kuormitus-, virtaama- ja vedenlaatutietoja. BHK₇:n sekoituspitoisuudet on laskettu vuosittain joulukuun - maaliskuun keskimääräisen BHK₇-kuormituksen perusteella.

Ilmastumisen puuttuminen talvella helpottaa mallien kalibrointia, johon verrattavana voidaan kuitenkin pitää veden liikenopeuksien arviointia. Tämä on tehty käyttämällä ns. efektiivistä tilavuutta eli on jätetty seisovan veden alueet pois tarkasteluista. Varsinaisia kalibroitavia kertoimia on talvella melko vähän. Kertoimissa on käytetty samoja lukuarvoja kuin Päijänteellä malleja kehitettäessä.

Kuvissa 3 - 5 esitetään mallien eri tapauksissa antamat lasketut happipitoisuuskäyrät ja havaitut happipitoisuudet. Kuvan 3 mukaan mallit ja todellisuus ovat erittäin hyvässä sopusoinnussa keskenään. Huomattakoon

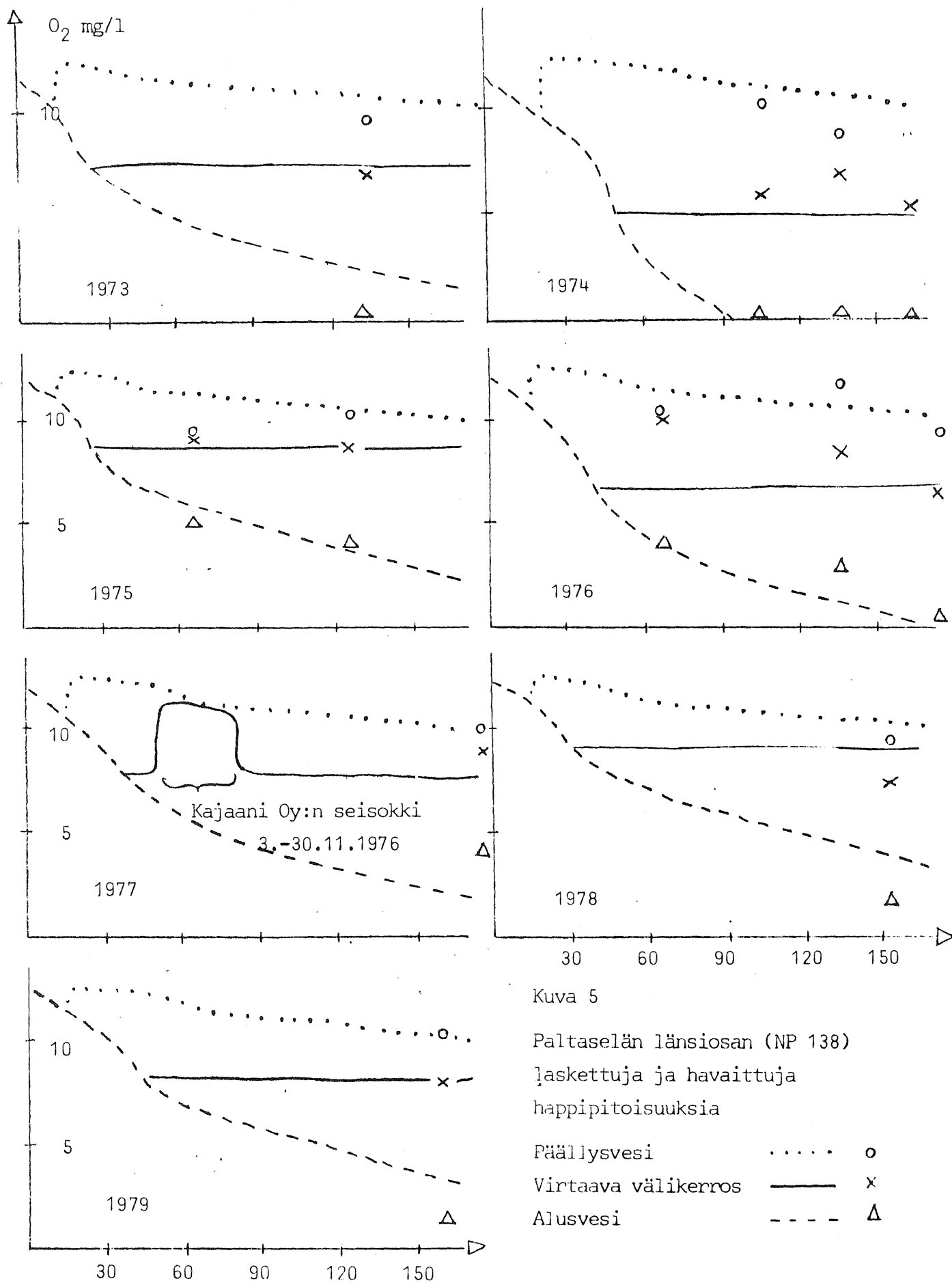




Kuva 4

Ärjänselän itäosien (NP 139)
laskettuja ja havaittuja
happipitoisuuksia

Päälyysvesi \circ
Virtaava kerros \times
Alusvesi Δ



erikoisesti, että talvea 1977 edeltävänä syksynä vesistö jäättyi 14.10.1976 ja että Kajaani Oy:n tehtaalla on ollut täydellinen seisokki 3.-30.11.1976, jonka aikainen vesi on lasketun virtausajan 121 d eli 4 kk kuluttua eli päivinä 3.-30.3.1977 Alassalmen näytepisteellä 95. Havainnon mukaan pisteen 95 happipitoisuus oli 16.3.1977 11.0 mg/l, jota se ei olisi ollut ilman seisokkia. Pisteellä 94 todetaan saman tapaista ilmiötä, sillä seisokin vaikutusvyöhykkeen jälkipää lienee ollut 16.3.1977 ohittamassa näytepistettä 94.

Kuvassa 4 esitetään myös alusveden happipitoisuudet, sillä syvänpisteellä 139 on selväpiirteinen alusvesi, joka pysyy paikallaan ja jonka happipitoisuus on laskettu siten mallin A avulla. Todellisuuden ja laskelmien vastaavuus on jälleen hyvä. Varsinaiselle päällysvedelle ei ole laskettua käyrää, sillä talvinen päällysvesi on Ärjänselällä epämääräinen kuten havaintohappipitoisuudetkin osoittavat.

Kuvassa 5 esitetään Paltaselän tilanteet. Siellä todetaan sellainen ilmiö, että alkutalvella havaitut päällys- ja väliveden happipitoisuudet jäävät laskettujen käyrien väliin. Todellisuudessa selväpiirteinen kerroksellisuus ei ala niin nopeasti kuin mallissa on oletettu. Havaintojen ja laskettujen pitoisuuksien vastaavuus näyttää olevan huonompi kuin Ärjänselällä, mutta vastaavuutta voitaneen pitää tyydyttävänä.

Yleispiirteiltään malleilla lasketut happipitoisuudet vastasivat jopa yllättävän hyvin todellisuutta. Verifioinnissa BHK₇-kuormitukset vaihtelivat rajoissa 30 - 60 tn/d ja Kajaaninjoen virtaama rajoissa 70 - 120 m³/s. Malleja voidaan pitää siten verifioituina ja ennusteiden vertailukelvollisuutta hyvänä.

3. ENNUSTEET

3.1 Vaihtoehtojen valinta

Ennusteet on laadittu neljälle Kainuun vesipiirin vesitoimiston antamalle Kajaani Oy:n BHK₇-kuormitusvaihtoehdolle ja kolmelle virtaamavaihtoehdolle. Nämä selviävät taulukosta 2.

Taulukko 2. Ennustevaihtoehdot

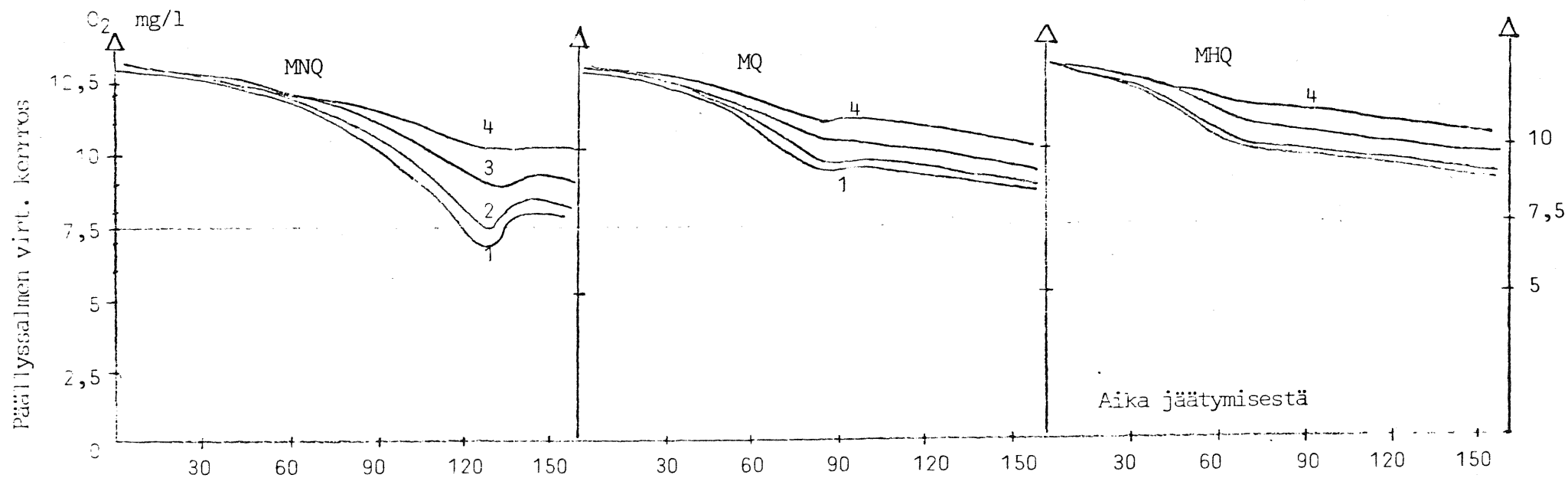
Tunnus	Paltaselän länsiosan virtaama (m^3/s)			
	BHK ₇ tn/d	Talvi		Syksy
		Q _E (pääll.vesi)	Q _S (alusvesi)	Yhteisvirt.
MNQ 1	43.2			
MNQ 2	38.7	62	68	87
MNQ 3	24.6			
MNQ 4	10.0			
MQ 1	43.2			
MQ 2	38.7	116	88	182
MQ 3	24.6			
MQ 4	10.0			
MHQ 1	43.2			
MHQ 2	38.7	151	105	284
MHQ 3	24.6			
MHQ 4	10.0			

Virtaamavaihtoehdot on otettu Kajaaninjoen osalta aikajaksolta 1961 - 1970 ja Kiehimänjoen osalta aikajaksolta 1963 - 1970 (Hyvärinen ja Gürer 1976). Talviset virtaamat tarkoittavat kuukausien joulu - maaliskuun keskiarvoja ja syksyiset loka - marraskuun keskiarvoja. Kaajaaninjoen talviseksi keskiydivirtaamaksi on valittu $105 \text{ m}^3/\text{s}$, vaikka em. jakson MHQ on $95 \text{ m}^3/\text{s}$. Tämä poikkeus on tehty siksi, että 1970-luvulla $100 \text{ m}^3/\text{s}$ on joulu - maaliskuun keskivirtaamana ylitetty peräti viisi kertaa.

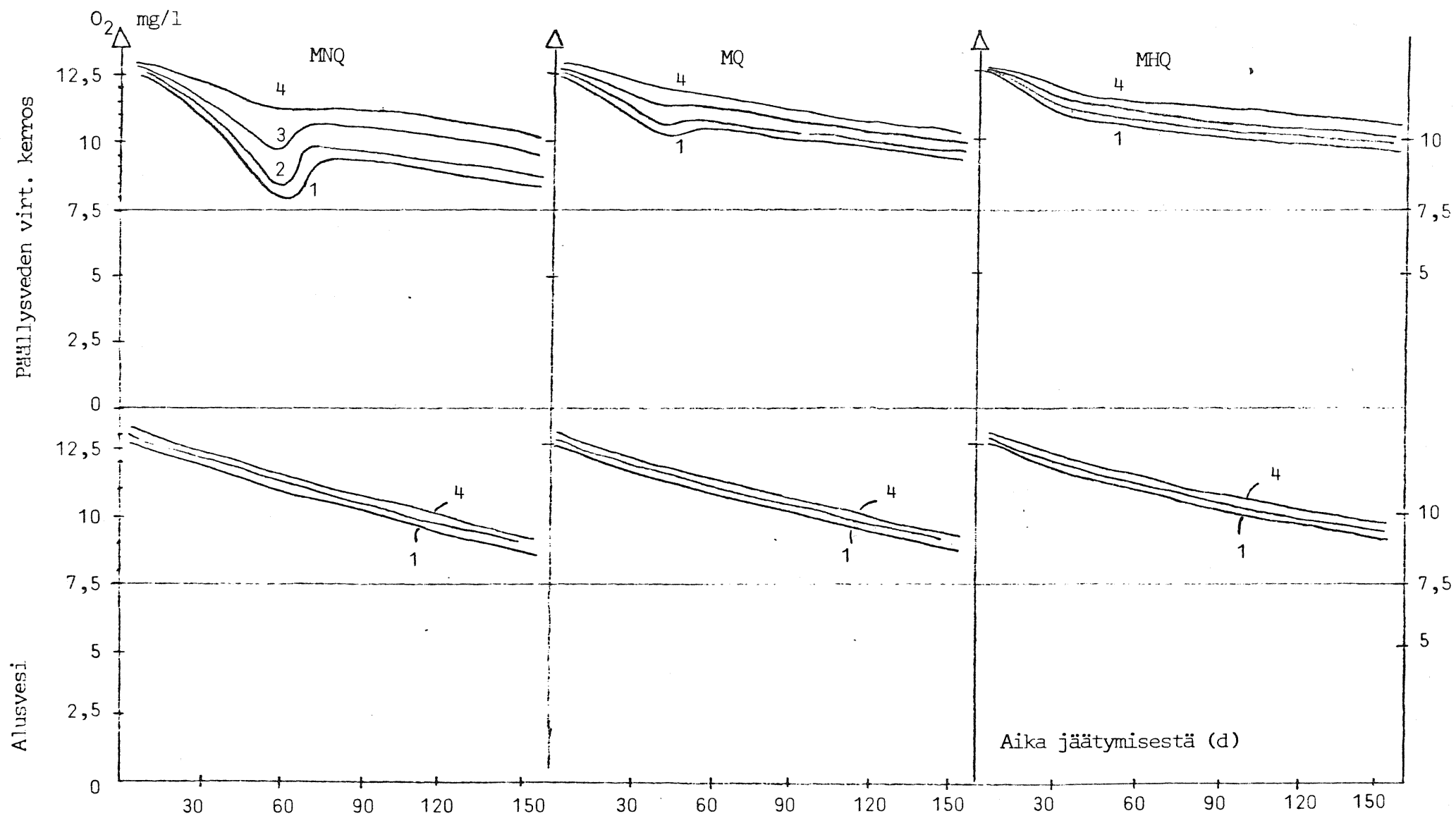
3.2 Ennusteiden tarkastelu

Ennusteet on esitetty kuvissa 6 - 8. Ärjänselän länsiosan kapeikolle (Kärkisaari) ei ole laskettu alusveden pitoisuuksia osittain siksi, että vesistö mataloituu voimakkaasti ja osittain siksi, että kuvan 7 alusveden käyrät on yleistettävissä myös Ärjänselän länsiosiin. Eri vaihtoehdot johtavat seuraaviin päätelmiin.

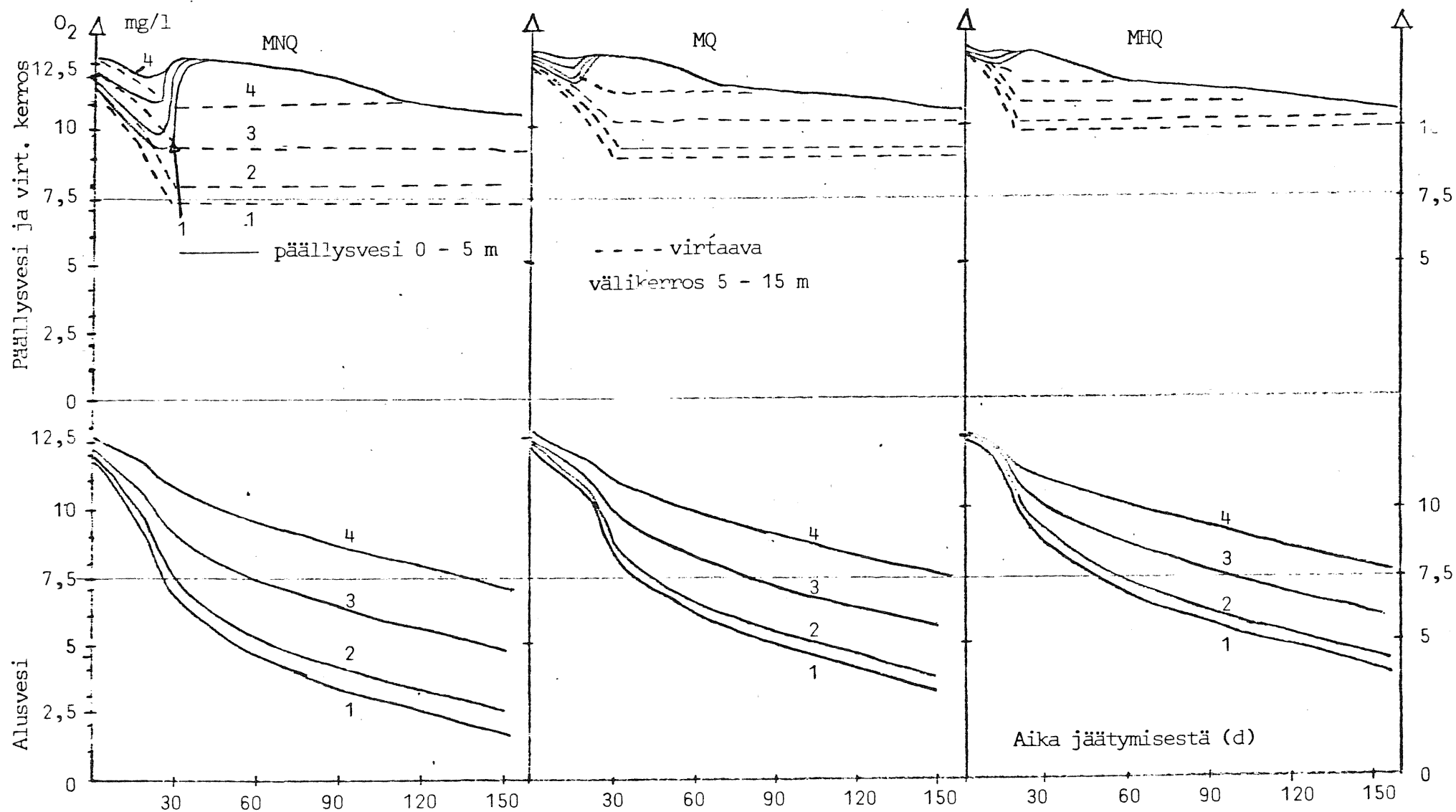
Paltaselällä BHK-kuormituksen vähentäminen parantaa oleellisesti alusveden (yli 15 m) ja virtaavan väliveden (5 - 15 m) happipitoisuuksia. Varsinai-



Kuva 6 Ennusteet Ärjänselän jämsiosan kapeikon
(Käkisaari) alueella



Kuva 7 Ennusteet Ärjänselän syvännepisteen 139 alueella



Kuva 8

Ennusteet Paltaselän syvännepisteen 138 alueella

seen päällysveteen vaikutukset ovat talven alkuvaihetta lukuunottamatta vähäiset.

Ärjänselällä BHK-kuormituksen vähentäminen tuntuu voimakkaana päällysveden virtauskerroksessa eli vyöhykkeessä 1 - 15 m. Alusveteen vaikutukset ovat vähäisiä, sillä BHK₇-kuormitus vaikuttaa Ärjänselän alusveteen vain syys-täyskierron "jatkona". Kun valtaosa järven pohjapinta-alasta on 15 m ylä-puolella, on BHK-kuormituksen vähentämisellä hyvin suuri merkitys. Ärjän-selkä reagoi siten voimakkaasti BHK-kuormituksen muunteluun, mutta vain lievästi fosforikuormituksen muunteluun.

Virtaamien vaihtelu aiheuttaa suuria muutoksia varsinkin Ärjänselällä. Säännöstelyn toteuttaminen siten, että Kajaaninjoen ja Kiehimänjoen talvi-sia virtaamia pidetään korkeana edistää vesistön happitaloutta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Oulujärven edullisista laimentumisolo-suhteista johtuen vesistö ei ole pysyvästi kärsinyt kuormituksesta ja että BHK₇-kuormituksen vähentäminen vaihtoehtoon 3 tasolle parantaa tilanteen melko hyväksi ja vaihtoehtoon 4 tasolle erittäin hyväksi.

4. JATKOTUTKIMUKSISSA HUOMIOITAVIA SEIKKOJA

Havaintoaineistoa voidaan pitää yleispiirteiltään riittävänä. Tärkein pa-rannus kokonaisuuden ymmärtämiseksi olisi näytteenottotiheyden ajallinen lisääminen esim. siten, että Toukansalmesta otettaisiin tiheät vertikaali-näytteet marras - joulukuussa tilanteen salliessa kahden viikon välein. Samoin tulisi menetellä Alassalmessa helmi - huhtikuussa. Näin saataisiin talvinen veden liikenopeus määritetyksi ja tämä auttaisi puolestaan muiden näytteenottopaikkojen ja -aikojen oikeaa valintaa. Joka tapauksessa talven alkuvaiheeseen tulisi saada havaintokertoja valikoiduille paikoille (esim. 138 ja 139).

Velvoitetarkkailun vertikaaliset näytteenottotiheydet ovat riittävät. Hap-pipitoisuuden muutokset 1 ja 5 m välillä ovat kuitenkin usein varsin suuret, joten hapen määrittäminen myös 3 m syvyydestä toisi lisäinformaatiota. Analyy-sejä voitaisiin karsia vähemmäksi nykyisestä.

Tutkimusohjelmien harkinta pelkästään talvitilanteiden pohjalta jää vaillinaiseksi. Perusteellinen asian tarkastelu edellyttäisi tutustumista myös muihin vuodenaikoihin. Yleistilanne lienee kuitenkin se, että tarkkailuja voitaisiin supistaa, mikäli tapahtumien laajuus ja rytmiikka selvitettäisiin olemassaolevan aineiston avulla.

5. TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli laatia talviset happipitoisuusennusteet Oulujärven Paltas- ja Ärjänselälle eri kuormitustilanteissa. Ennusteiden laatimiseen käytettiin nimenomaan järville kehitettyjä happipitoisuuden laskentamalleja, jotka tulostavat päällys- ja alusveden happipitoisuuden vuodenaikaiskäyrät hydrauliiikan, BHK-kuormituksen, fosforikuormituksen ja orgaanisen peruskuormituksen funktiona (Lappalainen 1978).

Oulujärven talvinen hydrauliiikka on pelkistetysti seuraava: Kajaaninjoen vesi jätevesilisineen sukeltaa Paltaselän länsiosan alusveteen täyttäen sen aluksi noin 15 m syvyyteen, jonka jälkeen Kajaaninjoen vesi virtaa 5 - 15 m syvyysvyöhykkeessä Ärjänselän suuntaan Toukansalmen kapeikkoon ja matalikkoon asti. Hyrynsalmen reitin vedet ja tietyt lisävedet virtaavat puolestaan Paltaselällä päällysvedessä eli syvyydessä 0 - 5 m. Toukansalmessa alus- ja päällysvesi sekoittuvat muodostaen siten entisestään laimentuneen jätevesiseoksen, joka virtaa noin 10 m paksuisena ja pääasiassa Ärjänselän pohjoispuoliskolle levittäytyvänä kerroksena 0 - 15 m syvyysvyöhykkeessä.

Paltaselälle voidaan soveltaa sellaisenaan päällys- ja alusvedelle kehitettyjä happimalleja. Ärjänselän virtaavan päällysvesikerroksen happipitoisuus joudutaan kuitenkin Toukansalmen sekoittumisalueen jälkeen laskemaan siten, että Paltaselän päällys- ja alusveden ajatellaan virtaavan erillään ja että komponenttien laskemisen jälkeen suoritetaan laskennollinen sekoittuminen virtaamaosuuksien mukaisin pitoisuuspainotuksin.

Mallien verifiointi eli laskettujen ja havaittujen happipitoisuuksien vertailu on esitetty kuvissa 3 - 5. Vastaavuus osoittautui hyväksi.

Ennusteet laskettiin taulukossa 2 esitetyille neljälle Kajaani Oy:n BHK₇-kuormituksen ja kolmelle virtaamayhdistelmän vaihtoehdoille. Ennusteet on esitetty kuvissa 6 - 8. Niistä todetaan, että BHK₇-kuormituksen alentaminen parantaisi oleellisesti Paltaselän alusveden ja Ärjänselän päällysveden happitilanteita. Virtaamien vaihtelu aiheuttaa suuria muutoksia varsinkin Ärjänselällä. Säännöstelyn toteuttaminen siten, että Kajaaninjoen ja Kiehimänjoen talvisia virtaamia pidetään korkeana edistää vesistön happitalouden hyvänä pitämistä.

Havaintoaineistot suoritettuihin mallitarkasteluihin olivat yleispiirteiltään riittävät. Tärkein kehittämistavoite olisi vesien todellisen viipymän määrittäminen, mikä voitaisiin tehdä ottamalla näytteet Toukansalmesta marras - joulukuussa esimerkiksi kahden viikon välein ja vastaavasti Alasalmesta helmi - huhtikuussa.

6. KIRJALLISUUS

- Hyvärinen, V. ja Gürer, I. 1976: Virtaama-aineiston tilastoanalyysi. - Vesihallituksen vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 15. Helsinki 1976.
- Lappalainen, K. M. 1978: Vesistöjen happimalli. - Vesihallituksen tiedotus 149. Helsinki 1976.

